

## Сегнетоэлектричество в гибридных органо-неорганических перовскитах $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbX}_3$ ( $\text{X}=\text{I}, \text{Br}, \text{Cl}$ )

А.А. Боков, М. Бари, З.-Г. Ёе

Университет Саймона Фрэйзера, V5A 1S6, Ванкувер, Канада  
e-mail: abokov@sfu.ca

Органо-неорганические (гибридные) перовскиты привлекают повышенное внимание исследователей последнее десятилетие как чрезвычайно перспективные материалы для светопоглощающих слоёв солнечных батарей. Более того, недавние интенсивные исследования привели к обнаружению в этих материалах необычных полупроводниковых, электрооптических, тепловых и электрострикционных свойств перспективных для использования в фотодетекторах, светодиодах, лазерах, микроэлектромеханических системах, детекторах рентгеновского и гамма излучения. Несмотря на значительный технологический прогресс в разработке солнечных батарей и других устройств, физическая природа уникальных свойств гибридных перовскитов остаётся дискуссионной. Один из возможных механизмов, ответственных за наблюдаемые свойства, связывается с сегнетоэлектричеством, обнаруженным рядом авторов экспериментально и теоретически в наиболее исследованных кристаллах  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbX}_3$  ( $\text{X}=\text{I}, \text{Br}, \text{Cl}$ ) и в некоторых других гибридных перовскитах. Однако, другие исследователи оспаривают не только сегнетоэлектричество в этих материалах, но и наличие полярной кристаллической структуры, необходимой для его существования. Присутствие полярных органических молекул, таких как  $\text{CH}_3\text{NH}_3$ , значительно затрудняет применение традиционных дифракционных методов исследования кристаллической структуры, а высококачественные монокристаллы, необходимые для надёжных исследований структуры и свойств, сравнительно трудно выращивать.

В настоящем докладе представлены результаты исследований монокристаллов  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbX}_3$ , выполненных недавно в нашей лаборатории и опубликованных в печати, а также некоторые новые результаты. Мы разработали простой и эффективный метод роста кристаллов при комнатной температуре. Исследования полупроводниковых и оптических свойств полученных образцов подтвердили их высокое качество. Структура и фазовые переходы изучались в широком интервале температур с помощью рентгеноструктурного анализа, оптической поляризационной микроскопии, диэлектрической спектроскопии и измерения зависимостей поляризации от приложенного электрического поля. Показано, что симметрия промежуточных фаз в кристаллах  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbCl}_3$  и  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbBr}_3$  является ромбической, а не тетрагональной, как считалось ранее. В этих кристаллах обнаружены двойниковые домены и исследовано поведение этих доменов под воздействием внешнего механического напряжения и электрического поля. Показано, что некубические фазы этих кристаллов являются сегнетоэластическими, но не сегнето- или антисегнетоэлектрическими. Исследования температурных зависимостей параметров релаксационных диэлектрических спектров позволило классифицировать эти кристаллы как «потенциальные» (incipient) сегнетоэлектрики типа порядок-беспорядок.

1. M. Bari, A. A. Bokov, Z.-G. Ye, *J. Mater. Chem. C* **8**, 3096 (2020).
2. M. Bari, A. A. Bokov, Z.-G. Ye, *J. Mater. Chem. C* **9**, 9625 (2020)
3. M. Bari, H. Wu, A. A. Bokov et al. *CrystEngComm* **23**, 3326 (2021).